

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Photovoltaic devices –

Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices

Dispositifs photovoltaïques –

Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Photovoltaic devices –

Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices

Dispositifs photovoltaïques –

Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-7219-0

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD	3
1 Scope	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	6
4 Description of method	6
5 Determination of spectral responsivity	8
6 Determination of test spectrum	8
7 Determination of the spectral mismatch factor	8
7.1 General	8
7.2 Simplified formula for a thermopile detector (pyranometer)	10
8 Report	10

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-7:2019

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

**Part 7: Computation of the spectral mismatch correction
for measurements of photovoltaic devices**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60904-7 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2008. It constitutes a technical revision.

The main technical changes with respect to the previous edition are as follows:

- For better compatibility and less redundancy, the clause "Determination of test spectrum" refers to IEC 60904-9.
- The spectral mismatch factor is called *SMM* instead of *MM* to enable differentiation to the angular mismatch factor *AMM* and spectral angular mismatch factor *SAMM*.
- Formulae for the derivation and application of the spectral mismatch factor *SMM* are added.
- Links to new standards are given, e.g. concerning multi-junction devices.

- Corrected wording (responsivity instead of response and irradiance instead of intensity).

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
82/1590/FDIS	82/1605/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of IEC 60904 series, published under the general title *Photovoltaic devices*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-7:2019

PHOTOVOLTAIC DEVICES –

Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices

1 Scope

This part of IEC 60904 describes the procedure for correcting the spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device, caused by the mismatch between the test spectrum and the reference spectrum (e.g. AM1.5 spectrum) and by the mismatch between the spectral responsivities (SR) of the reference device and of the device under test and therewith reduce the systematic uncertainty. This procedure is valid for single-junction devices but the principle may be extended to cover multi-junction devices.

The purpose of this document is to give guidelines for the correction of the spectral mismatch error, should there be a spectral mismatch between the test spectrum and the reference spectrum as well as between the reference device SR and the device under test SR. The calculated spectral mismatch correction is only valid for the specific combination of test and reference devices measured with a particular test spectrum.

Since a PV device has a wavelength-dependent spectral responsivity, its performance is significantly affected by the spectral distribution of the incident radiation, which in natural sunlight varies with several factors such as location, weather, time of year, time of day, orientation of the receiving surface, etc., and with a solar simulator varies with its type and conditions. If the irradiance is measured with a thermopile-type radiometer (that is not spectrally selective) or with a PV reference device (IEC 60904-2), the spectral irradiance distribution of the incoming light must be known to make the necessary corrections to obtain the performance of the PV device under the reference spectral irradiance distribution defined in IEC 60904-3.

If a reference PV device or a thermopile type detector is used to measure the irradiance, then, following the procedure given in this document, it is possible to calculate the spectral mismatch correction necessary to obtain the short-circuit current of the device under test under the reference spectral irradiance distribution in IEC 60904-3 or any other reference spectrum. If the reference PV device has the same relative spectral responsivity as the device under test then the reference device automatically takes into account deviations of the measured spectral irradiance distribution from the reference spectral irradiance distribution, and no further correction of spectral mismatch errors is necessary. In this case, location and weather conditions are not critical when the reference device method is used for performance measurements under natural sunlight. Also, for identical relative SRs, the spectral classification of the simulator is not critical for measurements with solar simulators.

If the performance of a PV device is measured using a known spectral irradiance distribution, its short-circuit current at any other spectral irradiance distribution can be computed using the spectral responsivity of the PV device under test.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60891, *Photovoltaic devices – Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics*

IEC 60904-1, *Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics*

IEC 60904-1-1, *Photovoltaic devices – Part 1-1: Measurement of current-voltage characteristics of multi-junction photovoltaic (PV) devices*

IEC 60904-2, *Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices*

IEC 60904-3, *Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*

IEC 60904-8, *Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device*

IEC 60904-8-1, *Photovoltaic devices – Part 8-1: Measurement of spectral responsivity of multi-junction photovoltaic (PV) devices*

IEC 60904-9, *Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

ISO 9288:1989, *Thermal insulation – Heat transfer by radiation – Physical quantities and definitions*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC TS 61836 and ISO 9288 apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

NOTE The index e for the energetic quantities is omitted, as in this document the quantities need not be distinguished from photometric quantities. Thus, for the quantity irradiance the quantity symbol E instead of the quantity symbol E_e is used.

The index λ that denotes that the irradiance is differentiated with respect to the wavelength λ and not to the frequency ν to obtain the spectral irradiance $E_\lambda(\lambda)$ is mostly omitted for clarity. Therefore, the spectral irradiance is referred to herein as $E(\lambda)$.

4 Description of method

For many PV devices, the shape of the I-V characteristic depends on the short-circuit current and the device temperature, but not on the spectrum used to generate the short-circuit current. For these devices, the correction of spectrum mismatch or spectral responsivity mismatch is possible using the following procedure. For other devices, a measurement of the I-V characteristic shall be done using a light source with the appropriate spectrum.

A correction is not necessary if either the test spectrum is identical to the reference spectrum (see IEC 60904-3) or if the device under test's relative spectral responsivity is identical to the reference device relative spectral responsivity. In this case, the reading as obtained from the reference device specifies which irradiance at the reference spectrum will generate the same short-circuit current in the device under test as the test spectrum.

If there is a mismatch between spectra (spectrum mismatch) as well as spectral responsivities (spectral responsivity mismatch) then a mismatch correction should be calculated. As the test spectrum and the spectral responsivities always have an assigned measurement uncertainty, for the calculation of the total uncertainty the uncertainty of spectral mismatch shall be always taken into account.

When a mismatch in spectra and/or spectral responsivities exists, the reading of the reference device (see IEC 60904-2) does not give the irradiance of the test spectrum that would generate the same short-circuit current for the device under test as the reference spectrum. Therefore, one shall determine the effective irradiance of the test spectrum, E_{eff} that generates the same short-circuit current in the device under test as generated by the reference spectrum.

$$E_{\text{eff}} = SMM \times E_{\text{meas}} \quad (1)$$

where E_{meas} is the irradiance as measured by the reference device with its specific spectral responsivity $s_{\text{ref}}(\lambda)$ before applying spectral mismatch corrections and SMM is the spectral mismatch factor as determined in Clause 7.

For a measurement to be referred to the reference spectral irradiance, two correction methods are possible:

- a) If possible, adjust the measured test spectrum irradiance so that the effective irradiance as determined by formula (1) equals the reference irradiance E_{ref} (e.g. 1 000 W/m² for STC, as defined in IEC TS 61836). That is to say that the solar simulator's irradiance as measured by the reference device using its calibration value before applying spectral mismatch correction given for the reference spectrum has to be set to

$$E_{\text{meas}} = E_{\text{ref}} / SMM \quad (2)$$

Thus, the inverse mismatch factor $1/SMM$ gives the degree by which the solar simulator's irradiance has to be adjusted. Now, the solar simulator spectrum at this irradiance with its actual measured test spectrum generates the same short-circuit current for the device under test as would be obtained under the reference spectrum. If the adjustment is done without using the feedback of the reference device (e.g. using a control dial), the adjusted value should be checked using a reference device. Thereafter, proceed to measure the I-V characteristic as per IEC 60904-1.

- b) Otherwise, measure the I-V characteristic using the measured spectral irradiance. Determine the effective irradiance at the reference spectrum using formula (1). Then translate the I-V characteristic to the reference irradiance using IEC 60891 with the effective irradiance determined from formula (1).

Method a) is preferred for simulated sunlight, as the actual measurement is performed at the correct reference irradiance, minimising non-linearity errors of the device under test and errors arising from the I-V curve translation. Method b) is usually chosen for measurements under natural sunlight, as the spectral irradiance of sunlight cannot be easily adjusted.

5 Determination of spectral responsivity

5.1 If not available, the relative spectral responsivity of the device under test and the reference device shall be measured according to IEC 60904-8 for single-junction devices and IEC 60904-8-1 for multi-junction devices under test.

5.2 Take care not to use the differential spectral responsivity, but the spectral responsivity, that can be calculated using differential spectral responsivities at different bias level (see IEC 60904-8).

6 Determination of test spectrum

The relative spectral irradiance distribution of the radiation source shall be measured according to IEC 60904-9. This shall be done for simulated as well as natural sunlight.

7 Determination of the spectral mismatch factor

7.1 General

Determine the spectral mismatch factor from :

$$SMM = \frac{\int E_{\text{ref}}(\lambda) s_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{meas}}(\lambda) s_{\text{DUT}}(\lambda) d\lambda}{\int E_{\text{meas}}(\lambda) s_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{ref}}(\lambda) s_{\text{DUT}}(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

where

$E_{\text{ref}}(\lambda)$ is the irradiance per unit bandwidth at a particular wavelength λ , of the reference spectral irradiance distribution (reference spectrum), for example as given in IEC 60904-3;

$E_{\text{meas}}(\lambda)$ is the irradiance per unit bandwidth at a particular wavelength λ , of the spectral irradiance distribution of the incoming light at the time of measurement (test spectrum);

$s_{\text{ref}}(\lambda)$ is the spectral responsivity of the reference PV device at reference conditions;

$s_{\text{DUT}}(\lambda)$ is the spectral responsivity of the device under test at reference conditions.

All integrals shall be performed in the entire spectral range where the respective quantities are not zero. The irradiance distribution shall be known over the entire combined spectral range of sensitivity of the device under test and the reference PV device.

The spectral irradiance distributions and the spectral responsivities can be given on an absolute or relative scale.

If the relative test spectrum would be identical to relative reference spectrum, then the SMM is 1 and spectral mismatch corrections can be neglected, even if the spectral responsivities of the devices differ. However, considering that the test spectrum as a physical quantity has a measurement uncertainty assigned to it that is not zero, the SMM will still have a measurement uncertainty contribution different to zero. Thus, the SMM factor cannot be neglected when considering its measurement uncertainty contribution, though the value of the factor is 1.

If the relative spectral responsivity of the device under test would be identical to the relative spectral responsivity of the reference device, then the *SMM* is 1, even if the relative spectral irradiance distributions differ (perfectly matched reference device). Considering that both spectral responsivities have a measurement uncertainty that is not zero, the *SMM* will still have a measurement uncertainty contribution different to zero. Thus, the *SMM* factor cannot be neglected when considering its measurement uncertainty contribution, though the value of the factor is 1.

Due to the irregular shape of the reference and measured spectra, spectral responsivities should be interpolated to the wavelength points of the spectral irradiance measurements, not vice versa.

Formula (3) is valid for single-junction devices, but may be used for multi-junction devices. For multi-junction devices, the calculation shall be performed for each junction in the device, using its spectral responsivity including the spectral filtering caused by the junctions above the junction under consideration. The test report should specify the spectral mismatch factors and the relative current generation of the individual junctions. For multi-junction devices, refer to IEC 60904-1-1 (I-V) and IEC 60904-8-1 (SR).

The spectral responsivities used shall be valid at the level of target irradiance for which the *SMM* factor applies because for non-linear devices they may vary with the level of irradiance.

Derivation of *SMM*

In the case that absolute spectral irradiances and absolute spectral responsivities are used for the analysis, Formula (3) can be interpreted as:

$$SMM = \frac{I_{\text{ref}, E_{\text{ref}}} I_{\text{DUT}, E_{\text{meas}}}}{I_{\text{ref}, E_{\text{meas}}} I_{\text{DUT}, E_{\text{ref}}}} \quad (4)$$

where

$I_{\text{DUT}, E_{\text{ref}}}$ is the short-circuit current of the device under test that would be obtained under the reference spectrum $E_{\text{ref}}(\lambda)$;

$I_{\text{ref}, E_{\text{ref}}}$ is the short-circuit current of the reference device that would be obtained under the reference spectrum $E_{\text{ref}}(\lambda)$;

$I_{\text{DUT}, E_{\text{meas}}}$ is the short-circuit current of the device under test under the measured test spectrum $E_{\text{meas}}(\lambda)$;

$I_{\text{ref}, E_{\text{meas}}}$ is the short-circuit current of the reference device under the measured test spectrum $E_{\text{meas}}(\lambda)$

because $I_{\text{sc}} \propto \int E_{\lambda}(\lambda) s(\lambda) d\lambda$.

Using these quantities, one can write according to the definition of the responsivity:

$$S_{\text{DUT}} = \frac{I_{\text{DUT}, E_{\text{ref}}}}{E_{\text{ref}}} = S_{\text{ref}} \cdot \frac{I_{\text{DUT}, E_{\text{ref}}}}{I_{\text{ref}, E_{\text{ref}}}} = S_{\text{ref}} \cdot \frac{I_{\text{DUT}, E_{\text{ref}}}}{I_{\text{ref}, E_{\text{ref}}}} \cdot \frac{I_{\text{ref}, E_{\text{meas}}}}{I_{\text{DUT}, E_{\text{meas}}}} \cdot \frac{I_{\text{DUT}, E_{\text{meas}}}}{I_{\text{ref}, E_{\text{meas}}}} = S_{\text{ref}} \cdot \frac{1}{SMM} \cdot \frac{I_{\text{DUT}, E_{\text{meas}}}}{I_{\text{ref}, E_{\text{meas}}}} \quad (5)$$

What you want to know
What you measure

where

S_{DUT} is the (integral) responsivity of the device under test under reference spectrum:

$$S_{DUT} = \frac{I_{DUT, E_{ref}}}{E_{ref}}$$

S_{ref} is the (integral) responsivity of the reference device under reference spectrum: $S_{ref} = \frac{I_{ref, E_{ref}}}{E_{ref}}$

E_{ref} is the reference irradiance, typically 1 000 W/m².

7.2 Simplified formula for a thermopile detector (pyranometer)

IEC 60904-1 also allows the use of a thermopile detector (pyranometer) as reference device for the measurement of the test irradiance (under steady-state simulated or natural sunlight). As their spectral responsivity is nearly spectrally independent, one can assume $S_{ref}(\lambda) = 1$. In this case the formulae are modified as follows:

$$SMM = \frac{\int E_{ref}(\lambda) d\lambda \int E_{meas}(\lambda) S_{DUT}(\lambda) d\lambda}{\int E_{meas}(\lambda) d\lambda \int E_{ref}(\lambda) S_{DUT}(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

$$SMM = \frac{E_{ref} \int E_{meas}(\lambda) S_{DUT}(\lambda) d\lambda}{E_{meas} \int E_{ref}(\lambda) S_{DUT}(\lambda) d\lambda} \quad (7)$$

$$SMM = \frac{E_{ref} I_{DUT, E_{meas}}}{E_{meas} I_{DUT, E_{ref}}} \quad (8)$$

where

E_{ref} is the reference irradiance, typically 1 000 W/m²;

E_{meas} is the irradiance measured by the thermopile detector.

In Formula (6) the two integrals in the first fraction have to be taken over the entire wavelength range of sensitivity of the thermopile detector. This in general poses a problem, as the sensitivity range of such detectors is larger than the range readily measurable with spectroradiometers.

Formula (7) offers a solution by just using the measured irradiance. However, in this case the spectral irradiance of the test spectrum $E_{meas}(\lambda)$ has to be on an absolute scale.

8 Report

The following information should be given in the test report according to IEC 60904-1.

- If the spectral mismatch is used for the irradiance correction of a measurement based on IEC 60904-1 or another relevant standard, the calculated spectral mismatch factor, the identification of the device under test and the reference device as well as their spectral responsivities according to their test report (IEC 60904-8 or IEC 60904-8-1), the test spectrum and the reference spectrum or a reference to it should all be included in the test report, along with the method used to calculate the integrals.

If the reference device and the device under test are of different dimensions (active area), the dimensions should be specified in the test report.

- b) If a perfectly matched reference device is used and no mismatch correction is applied, the identification of the device under test and the reference device, as well as the spectral responsivities of reference and device under tests according to their test report (IEC 60904-8 or IEC 60904-8-1) should be included in the test report.

If the reference device and the device under test are of different dimensions (active area), the dimensions should be specified in the test report.

If the spectral responsivity of the device under test cannot be measured, the test report should include the criteria used to define the equivalency of the spectral responsivities.

- c) Note that the spectral mismatch factor determined by applying this procedure is only valid for correcting a measurement of the specific device under test considered with the particular reference device and test spectrum used to calculate the SMM. When measuring this device under test under different spectral irradiance (being it simulated or natural sunlight) and/or with a different reference device, the spectral mismatch factor shall be recalculated.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-7:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	13
1 Domaine d'application	15
2 Références normatives	16
3 Termes et définitions	16
4 Description de la méthode	17
5 Détermination de la sensibilité spectrale.....	18
6 Détermination du spectre pour l'essai	18
7 Détermination du facteur de désadaptation des réponses spectrales	18
7.1 Généralités	18
7.2 Formule simplifiée pour un détecteur thermopile (pyranomètre)	20
8 Rapport	21

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60904-7:2019

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60904-7 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

Les modifications techniques principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- pour davantage de compatibilité et moins de redondance, l'article "Détermination du spectre pour l'essai" fait référence à l'IEC 60904-9;
- le facteur de désadaptation des réponses spectrales est appelé *SMM* plutôt que *MM* afin de permettre la différenciation avec le facteur de désadaptation angulaire *AMM* et le facteur de désadaptation angulaire spectral *SAMM*;

- les formules correspondant à la dérivée et à l'application du facteur de désadaptation spectral *SMM* sont ajoutées;
- des références à de nouvelles normes sont données, par exemple concernant les dispositifs multijonctions;
- des formulations ont été corrigées ("sensibilité" remplace "réponse" et "éclairage" remplace "intensité").

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/1590/FDIS	82/1605/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60904, publiées sous le titre général *Dispositifs photovoltaïques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full text of IEC 60904-7:2019

DISPOSITIFS PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 7: Calcul de la correction de désadaptation des réponses spectrales dans les mesures de dispositifs photovoltaïques

1 Domaine d'application

Cette partie de l'IEC 60904 décrit la procédure pour corriger l'erreur de mesure spectrale introduite dans l'essai d'un dispositif photovoltaïque, due d'une part à la désadaptation du spectre pour l'essai et du spectre de référence (par exemple, spectre AM1.5), et d'autre part à la désadaptation entre les sensibilités spectrales (SS) du dispositif de référence et du dispositif soumis à essai, et ainsi réduire l'incertitude systématique. Cette procédure est valable pour les dispositifs à jonction unique, mais le principe peut être étendu aux dispositifs multijonctions.

Le but du présent document est de donner des lignes directrices pour la correction de l'erreur de mesure spectrale se traduisant par une désadaptation à la fois du spectre pour l'essai et du spectre de référence, ainsi que des sensibilités spectrales (SS) du dispositif de référence et celles du dispositif soumis à essai. La correction calculée de désadaptation des réponses spectrales n'est valable que pour la combinaison spécifique des dispositifs d'essai et de référence mesurés à l'aide d'un spectre d'essai particulier.

Comme la sensibilité spectrale d'un dispositif PV est liée à la longueur d'onde, ses performances sont influencées de manière significative par la distribution spectrale du rayonnement incident, qui, dans le cas d'un éclairage solaire naturel, varie selon plusieurs facteurs tels que l'emplacement, les conditions météorologiques, le moment de l'année ou de la journée, l'orientation de la surface de réception, etc., et qui, avec un simulateur solaire, varie selon son type et les conditions correspondantes. Si l'éclairage est mesuré avec un radiomètre à thermopile (qui n'est pas spectralement sélectif) ou avec un dispositif PV de référence (IEC 60904-2), la distribution spectrale de l'éclairage de la lumière entrante doit être connue de façon à appliquer les corrections nécessaires pour obtenir les performances du dispositif PV avec la distribution spectrale de l'éclairage de référence définie dans l'IEC 60904-3.

Si un dispositif PV de référence ou un détecteur de type thermopile est utilisé pour mesurer l'éclairage, alors, en suivant la procédure donnée dans le présent document, il est possible de calculer la correction de désadaptation des sensibilités spectrales nécessaire à la détermination du courant de court-circuit du dispositif soumis à essai avec une distribution spectrale de l'éclairage de référence donnée dans l'IEC 60904-3 ou avec tout autre spectre de référence. Si le dispositif PV de référence a la même sensibilité spectrale relative que le dispositif soumis à essai alors le dispositif de référence prend automatiquement en compte les écarts de la distribution spectrale de l'éclairage mesurée par rapport à la distribution spectrale de l'éclairage de référence, et aucune correction supplémentaire des erreurs de mesure spectrales n'est nécessaire. Dans ce cas, l'emplacement et les conditions atmosphériques ne sont pas critiques lorsque la méthode employant un dispositif de référence est utilisée pour des mesures de performance sous éclairage solaire naturel. De plus, pour des sensibilités spectrales relatives identiques, la classification spectrale du simulateur n'est pas critique pour des mesures avec des simulateurs solaires.

Si la performance d'un dispositif PV est mesurée en utilisant une distribution spectrale de l'éclairage connue, son courant de court-circuit avec toute autre distribution spectrale de l'éclairage peut être calculé en utilisant la sensibilité spectrale du dispositif PV soumis à essai.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60891, *Dispositifs photovoltaïques – Procédures pour les corrections en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées*

IEC 60904-1, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 1: Mesure des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques*

IEC 60904-1-1, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 1-1: Mesurage des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions*

IEC 60904-2, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences applicables aux dispositifs photovoltaïques de référence*

IEC 60904-3, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral de référence – Dispositifs photovoltaïques*

IEC 60904-8, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 8: Mesure de la sensibilité spectrale d'un dispositif photovoltaïque (PV)*

IEC 60904-8-1, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 8-1: Mesurage de la sensibilité spectrale des dispositifs photovoltaïques (PV) multijonctions*

IEC 60904-9, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (disponible en anglais seulement)

ISO 9288:1989, *Isolation thermique – Transfert de chaleur par rayonnement – Grandeurs physiques et définitions*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions données dans l'IEC TS 61836 et l'ISO 9288 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

NOTE L'indice e des grandeurs énergétiques est omis, étant donné que dans le présent document les grandeurs peuvent ne pas être distinguées des grandeurs photométriques. Le symbole de grandeur E est donc utilisé pour l'éclairement quantitatif plutôt que le symbole de grandeur E_e .

L'indice λ indiquant que l'éclairement est différencié par rapport à la longueur d'onde λ et non par rapport à la fréquence ν pour obtenir l'éclairement spectral $E_\lambda(\lambda)$ est omis pour plus de clarté. Par conséquent, l'éclairement spectral est désigné ici par $E(\lambda)$.

4 Description de la méthode

Pour beaucoup de dispositifs PV, la forme de la caractéristique I-V dépend du courant de court-circuit et de la température du dispositif, mais ne dépend pas du spectre utilisé pour générer le courant de court-circuit. Pour ces dispositifs, la correction de la désadaptation du spectre ou de la sensibilité spectrale est possible en utilisant la procédure suivante. Pour les autres dispositifs, une mesure de la caractéristique I-V doit être réalisée en utilisant une source de lumière avec un spectre approprié.

Une correction n'est pas nécessaire si le spectre pour l'essai est identique au spectre de référence (voir l'IEC 60904-3) ou si la sensibilité spectrale relative du dispositif soumis à essai est identique à la sensibilité spectrale relative du dispositif de référence. Dans ce cas, le relevé obtenu à partir du dispositif de référence spécifie l'éclairement avec le spectre de référence qui génère le même courant de court-circuit dans le dispositif soumis à essai qu'avec le spectre pour l'essai.

S'il y a une désadaptation à la fois entre les spectres (désadaptation de spectre) et les sensibilités spectrales (désadaptation de sensibilité spectrale) alors il convient d'établir une correction de désadaptation. Étant donné que le spectre pour l'essai et les sensibilités spectrales présentent toujours une incertitude de mesure assignée, l'incertitude de désadaptation spectrale doit toujours être prise en compte pour le calcul de l'incertitude totale.

En cas de désadaptation des spectres et/ou des sensibilités spectrales, le relevé du dispositif de référence (voir l'IEC 60904-2) ne donne pas l'éclairement du spectre pour l'essai qui générerait le même courant de court-circuit pour le dispositif soumis à essai que le spectre de référence. Par conséquent, un relevé doit déterminer l'éclairement effectif du spectre pour l'essai, E_{eff} , qui génère le même courant de court-circuit dans le dispositif soumis à essai que celui généré par le spectre de référence.

$$E_{\text{eff}} = SMM \times E_{\text{meas}} \quad (1)$$

où E_{meas} est l'éclairement mesuré par le dispositif de référence ayant sa propre sensibilité spectrale $s_{\text{ref}}(\lambda)$ avant l'application des corrections de désadaptation des réponses spectrales et SMM est le facteur de désadaptation des réponses spectrales déterminé à l'Article 7.

Pour une mesure se référant à l'éclairement spectral de référence, deux méthodes de correction sont possibles:

- a) si possible, ajuster l'éclairement du spectre pour l'essai mesuré de telle façon que l'éclairement effectif, déterminé avec la formule (1), soit égal à l'éclairement de référence E_{ref} (par exemple 1 000 W/m² dans les conditions normales d'essai, comme défini dans l'IEC TS 61836). C'est-à-dire que l'éclairement du simulateur solaire mesuré par le dispositif de référence en utilisant sa valeur d'étalonnage avant l'application de la correction de désadaptation des réponses spectrales donnée pour le spectre de référence doit être réglée à

$$E_{\text{meas}} = E_{\text{ref}} / SMM \quad (2)$$

Ainsi, l'inverse du facteur de désadaptation $1/SMM$ donne le degré auquel l'éclairement du simulateur solaire doit être ajusté. A cet éclairement, le spectre du simulateur solaire avec son spectre pour l'essai mesuré réel génère le même courant de court-circuit pour le dispositif soumis à essai que le courant de court-circuit qui serait obtenu avec le spectre de référence. Si l'ajustement est effectué sans contrôle de la réaction du dispositif de référence (par exemple en utilisant un cadran de commande), il convient de vérifier la valeur ajustée en utilisant un dispositif de référence. Par la suite, procéder à la mesure de la caractéristique I-V selon l'IEC 60904-1;

- b) sinon, mesurer la caractéristique I-V en utilisant l'éclairement spectral mesuré. Déterminer l'éclairement effectif avec le spectre de référence en utilisant la formule (1). Transposer ensuite la caractéristique I-V à l'éclairement de référence en utilisant l'IEC 60891 avec l'éclairement effectif déterminé avec la formule (1).

La méthode a) est préférable en éclairage solaire simulé, étant donné que la mesure réelle est réalisée avec l'éclairement de référence correct, réduisant le plus possible les erreurs non-linéarité du dispositif soumis à essai et les erreurs provenant de la transposition de la courbe I-V. La méthode b) est généralement choisie pour les mesures effectuées sous éclairage solaire naturel, étant donné que l'éclairement spectral solaire ne peut pas être facilement ajusté.

5 Détermination de la sensibilité spectrale

5.1 Si elle n'est pas disponible, la sensibilité spectrale relative du dispositif en essai et du dispositif de référence doit être mesurée selon l'IEC 60904-8 pour les dispositifs à jonction unique et l'IEC 60904-8-1 pour les dispositifs multijonctions en essai.

5.2 Veiller à ne pas utiliser la sensibilité spectrale différentielle, mais plutôt la sensibilité spectrale pouvant être calculée en utilisant des sensibilités spectrales différentielles à un niveau de pseudolumière différent (voir IEC 60904-8).

6 Détermination du spectre pour l'essai

La distribution spectrale de l'éclairement relatif de la source de rayonnement doit être mesurée selon l'IEC 60904-9. Cette mesure doit être effectuée pour un éclairage solaire simulé aussi bien que pour un éclairage solaire naturel.

7 Détermination du facteur de désadaptation des réponses spectrales

7.1 Généralités

Déterminer le facteur de désadaptation des réponses spectrales à partir de:

$$SMM = \frac{\int E_{\text{ref}}(\lambda) s_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{meas}}(\lambda) s_{\text{DUT}}(\lambda) d\lambda}{\int E_{\text{meas}}(\lambda) s_{\text{ref}}(\lambda) d\lambda \int E_{\text{ref}}(\lambda) s_{\text{DUT}}(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

où

$E_{\text{ref}}(\lambda)$ est l'éclairement, par unité de largeur de bande, à une longueur d'onde particulière λ , de la distribution spectrale de l'éclairement de référence (spectre de référence), par exemple comme donné dans l'IEC 60904-3;

$E_{\text{meas}}(\lambda)$ est l'éclairement, par unité de largeur de bande, à une longueur d'onde particulière λ , de la distribution spectrale de l'éclairement de la lumière entrante au moment de la mesure (spectre pour l'essai);

$s_{\text{ref}}(\lambda)$ est la sensibilité spectrale du dispositif PV de référence dans les conditions de référence;

$s_{\text{DUT}}(\lambda)$ est la sensibilité spectrale du dispositif soumis à essai dans les conditions de référence.